

Технічні науки

УДК 536.24:533

Прокопов Віктор Григорович

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Прокопов Виктор Григорьевич

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Prokopyov Viktor

Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

Фіалко Наталія Михайлівна

доктор технічних наук, професор,

член-кореспондент НАН України, завідувача відділом

Інститут технічної теплофізики НАН України

Фиалко Наталия Михайловна,

доктор технических наук, профессор,

член-корреспондент НАН Украины, заведующая отделом

Институт технической теплофизики НАН Украины

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of Department

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

Альошко Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Алёшко Сергей Александрович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Alioshko Sergiy

Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

Полозенко Ніна Петрівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Полозенко Нина Петровна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Polozenko Nina

Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

Кутняк Ольга Миколаївна

науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Кутняк Ольга Николаевна

научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Kutnyak Olha

Senior Researcher

*Institute of Technical Thermophysics of the
National Academy of Sciences of Ukraine*

Дашковська Ірина Леонідівна

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Дашковская Ирина Леонидовна

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Dashkovska Irina

Junior Research

*Institute of Technical Thermophysics of the
National Academy of Sciences of Ukraine*

Кліщ Андрій Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Клищ Андрей Владимирович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Klishch Andriy

Junior Research

*Institute of Technical Thermophysics of the
National Academy of Sciences of Ukraine*

Реграгі Абубакр

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Реграги Абубакр

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Regragui Aboubakr

Junior Research

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

Ганжа Марк Володимирович

молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Ганжа Марк Владимирович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Hanzha Mark

Junior Research

Institute of Technical Thermophysics of the

National Academy of Sciences of Ukraine

СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПАЛЬНИКІВ СТРУМЕНЕВО-

НИШОВОГО ТИПУ

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ГОРЕЛОК СТРУЙНО-НИШЕВОГО ТИПА

COOLING SYSTEMS FOR BURNERS JET-NICHE TYPE

Анотація. Наведено результати дослідження характеристик систем охолодження пальників струменево-нішового типу. Представлено дані порівняльного аналізу ефективності систем охолодження з обдувом внутрішньої торцевої поверхні стабілізатора полум'я плоским імпактним струменем та системою круглих імпактних струменів.

Ключові слова: системи охолодження, плоский і круглий імпактні струмені, пальники струменеві-нішового типу.

Аннотация. Приведены результаты исследования характеристик систем охлаждения горелок струйно-нишевого типа. Представлены данные сравнительного анализа эффективности систем охлаждения с обдувом внутренней торцевой поверхности стабилизатора пламени плоской импактной струей и системой круглых импактных струй.

Ключевые слова: системы охлаждения, плоский и круглый импактные струи, горелки струйного-нишевого типа.

Summary. The results of the study of cooling systems characteristics for jet-niche type burners are presented. The data of a comparative analysis of the efficiency of cooling system with blowing of the inner end surface of the flame stabilizer by a flat impact jet and the system of round impact jets are presented.

Key words: cooling systems, flat and round impact jets, burners for jet-niche type.

Вступ. Завдання підвищення енергетичної ефективності котельного устаткування та його довговічності наразі стають усе більш актуальними з огляду на неухильне дорожчання палива і підвищення вимог щодо стану довкілля. Серед технологій, спрямованих на досягнення вказаного підвищення, виділяються технології, що базуються на застосуванні сучасних

пальникових пристроїв, системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів тощо [1-5]. Покращення експлуатаційних характеристик різних елементів котельного обладнання пов’язана також з необхідністю застосування принципово нових матеріалів для їх виготовлення [6-10].

Щодо сучасних пальникових пристроїв, то тут на особливу увагу заслуговують пальники струменево-нішового типу, які характеризуються низкою достоїнств. Надійність і довговічність цих пристроїв, як відомо, значною мірою визначається їхнім тепловим станом. Це зумовлює необхідність розробки спеціальних систем охолодження вказаних пальникових пристроїв, які покликані знизити температурні рівні в теплонапружених зонах стабілізаторів [10-15].

Мета роботи полягає у дослідженні ефективності різних систем охолодження пальникових пристроїв струменево-нішового типу.

Постановка задачі і методика досліджень. У пальникових пристроях струменево-стабілізаторного типу при відсутності їх спеціального охолодження неприпустимо високі рівні температури мають місце в тій частині конструкції, яка охоплює торцеву зону стабілізатора полум’я, звернену в топковий простір. Як спосіб локального охолодження торцевих стінок стабілізатора полум’я був обраний їх струменевий обдув, оскільки він займає одне з перших місць серед високоефективних методів інтенсифікації теплообміну.

У ситуації, що розглядається, в якості охолоджуючого агента застосовується природний газ до його надходження в газоподавальні отвори. Таким чином, пропоновані схеми охолодження є системи «самоохолодження» пальникових пристроїв.

В роботі, як вже зазначалося, ставиться завдання про визначення ефективності пропонуваніх систем охолодження струменево-стабілізаторних пальникових пристроїв (рис.1).

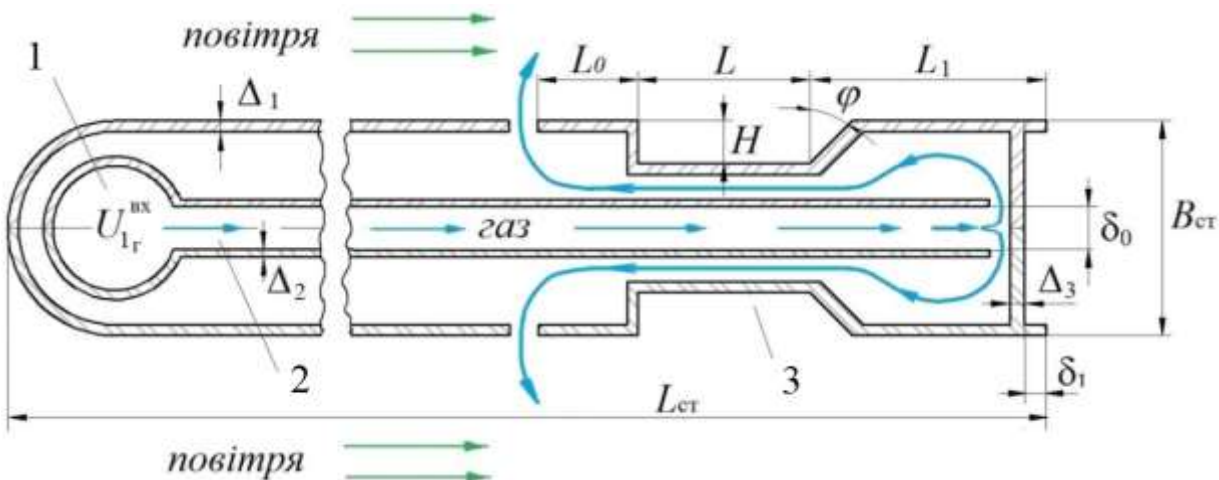


Рис. 1. Схема системи охолодження з обдувом торцевої поверхні стабілізатора плоским імпульсним струменем: 1 – газоподавальний колектор; 2 – канал для охолоджувального газу; 3 – нішова порожнина

При цьому беруться до уваги наступні основні вимоги, що ставляться до таких систем:

- по-перше, застосування систем охолодження повинно забезпечувати такий тепловий стан стінок стабілізатора, при якому їх температура не перевищує $550\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- по-друге, температура охолоджуючого агента - природного газу - на виході з системи охолодження повинна бути нижче $350\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- по-третє, аеродинамічні втрати в системі охолодження не повинні перевищувати більш, ніж на 40% відповідні втрати в разі відсутності спеціального охолодження пальників.

Рішення відповідної задачі переносу для пальників, оснащених пропонованими системами охолодження, здійснювалося методом математичного моделювання на основі програмного комплексу FLUENT.

Результати досліджень. Нижче наводяться характерні результати досліджень процесів переносу, що стосуються запропонованих систем охолодження, головним чином, для пальникових пристроїв струменево-нішового типу. Дослідження проводилися при таких основних вихідних даних: $Re_{\Gamma} = 6890$ при навантаженні котлоагрегату $N = 100\%$ і змінюється пропорційно його зменшенню; коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{\text{н}} = 1,1$; $\bar{t}_{\Gamma}^{\text{вх}} = 0,043$; $\bar{t}_{\text{н}}^{\text{вх}} = 0,057$; матеріал стінок стабілізатора – легована сталь 12X18H9T; $\bar{L} = 6,0$; $\bar{B}_{\text{ст}} = 7,5$; $12,5$; $\bar{L}_z = 80$; $\bar{L}_1 = 8,25$; $\bar{L}_0 = 3,5$; $\bar{\delta}_0 = 1,5$; $\bar{\delta} = 0,375 \div 1,5$; $\bar{\delta}_1 = \bar{\delta}_2 = \bar{\delta}_3 = 0,75$; $\bar{\Delta}_1 = 0,375$; $\bar{\Delta}_2 = 0,25$; $\bar{\Delta}_3 = 0,5$; $\bar{R}_1 = \bar{R}_2 = 0,75$; $\bar{B}_{\text{м}} = 17,5$; $\bar{H} = 1,5$; $\varphi = 45^\circ$; $\bar{S} = \bar{S}_{\kappa} = 3,33$; $\bar{d}_{\kappa} = 1,0$. Тут $Nu = \frac{\alpha \cdot d_{\Gamma}}{\lambda_{\Gamma}^{\text{вх}}}$; α – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні стінки стабілізатора; Eu – число Ейлера, $Eu = \frac{\Delta P}{\rho_{\Gamma}^{\text{вх}} \cdot (U_{1\Gamma}^{\text{вх}})^2}$; ΔP – втрати тиску по тракту охолоджувального газу; $t_{\Gamma}^{\text{доп}}$, $t_{\text{н}}^{\text{доп}}$ – допустимі значення температури газу і стінки стабілізатора; \bar{t}_{Γ} , $\bar{t}_{\text{н}}$, $\bar{t}_{\text{с}}$ – безрозмірні температури газу, повітря та стінки стабілізатора, $\bar{t}_{\Gamma} = t_{\Gamma} / t_{\Gamma}^{\text{доп}}$, $\bar{t}_{\text{н}} = t_{\text{н}} / t_{\text{н}}^{\text{доп}}$, $\bar{t}_{\text{с}} = t_{\text{с}} / t_{\text{с}}^{\text{доп}}$; d_{κ} , S_{κ} – діаметр і крок вихідних отворів каналу для охолоджувального газу; γ – координата, що відраховується від середини торця стабілізатора вздовж його внутрішньої поверхні відповідно. *Індекси:* доп – допустимий; риска над позначенням відповідає безрозмірній величині; для всіх безрозмірних геометричних характеристик визначальним розміром є діаметр газоподавального отвору.

На першому етапі досліджень розглядалась ситуація, що відповідає відсутності спеціального охолодження пальникового пристрою. Як показали дані математичного моделювання, в цій ситуації недопустимо високі рівні температур стінок стабілізатора, що перевищують $t_c^{\text{доп}}$, мають місце в значній його частині, яка охоплює обернену у топковий простір торцеву і прилеглі до неї зони. Дана обставина зумовлює необхідність застосування спеціального охолодження пальникового пристрою.

В роботі проведено порівняльний аналіз основних характеристик систем охолодження з обдувом внутрішньої торцевої поверхні стабілізатора плоским і круглими імпактними струменями.

Виконані дослідження показали, що у разі плоского струменя в центральній області приторцевої зони стабілізатора утворюється вихрова структура, конфігурація обмежувальних поверхонь якої значною мірою аналогічна формі спеціально спрофільованого дефлектора (рис. 2а). В ситуації, що відповідає круглим струменям, реалізується яскраво виражена тривимірна структура течії (рис. 2б).

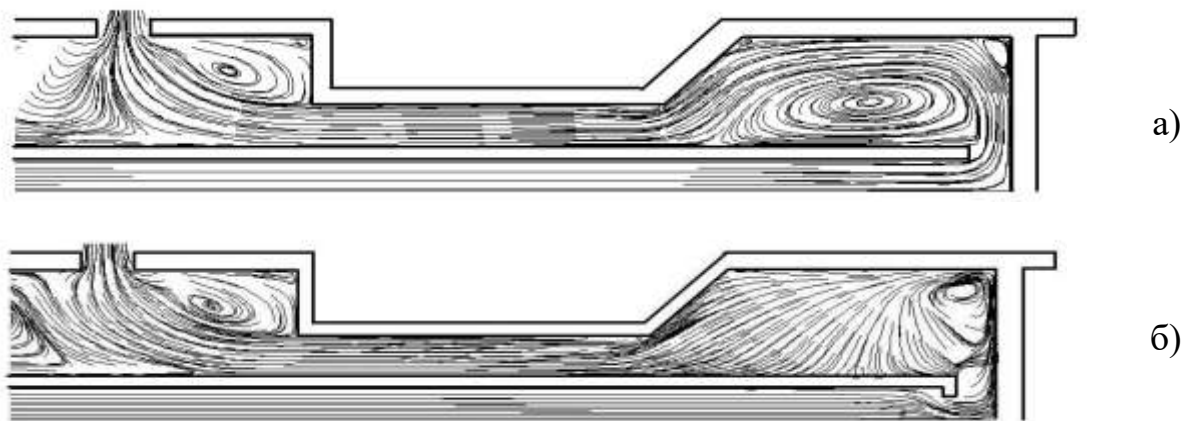


Рис. 2. Картина ліній течії газу в поздовжньому перерізі стабілізатора, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при обтіканні стабілізатора плоским імпактним струменем (а) та круглим імпактним струменем (б)

На рис. 3 наведено результати комп'ютерного моделювання, які ілюструють розподіл числа Нуссельта на внутрішній поверхні стабілізатора для двох систем охолодження, що зіставляються. Обидва розподіли характеризуються наявністю значної кількості екстремумів, положення яких відповідає критичним точкам відриву і приєднання потоку охолоджувального агента, кутовим вихровим зонам тощо. Однак, закономірності зміни чисел Nu та їхні величини для порівнюваних ситуацій суттєво відрізняються і, насамперед, в зоні торцевої поверхні стабілізатора. Так, в умовах, що розглядаються, максимальні значення Nu в зоні удару струменя у торцеву поверхню стабілізатора для круглих струменів перевищують відповідні величини для плоского струменя майже у три рази.

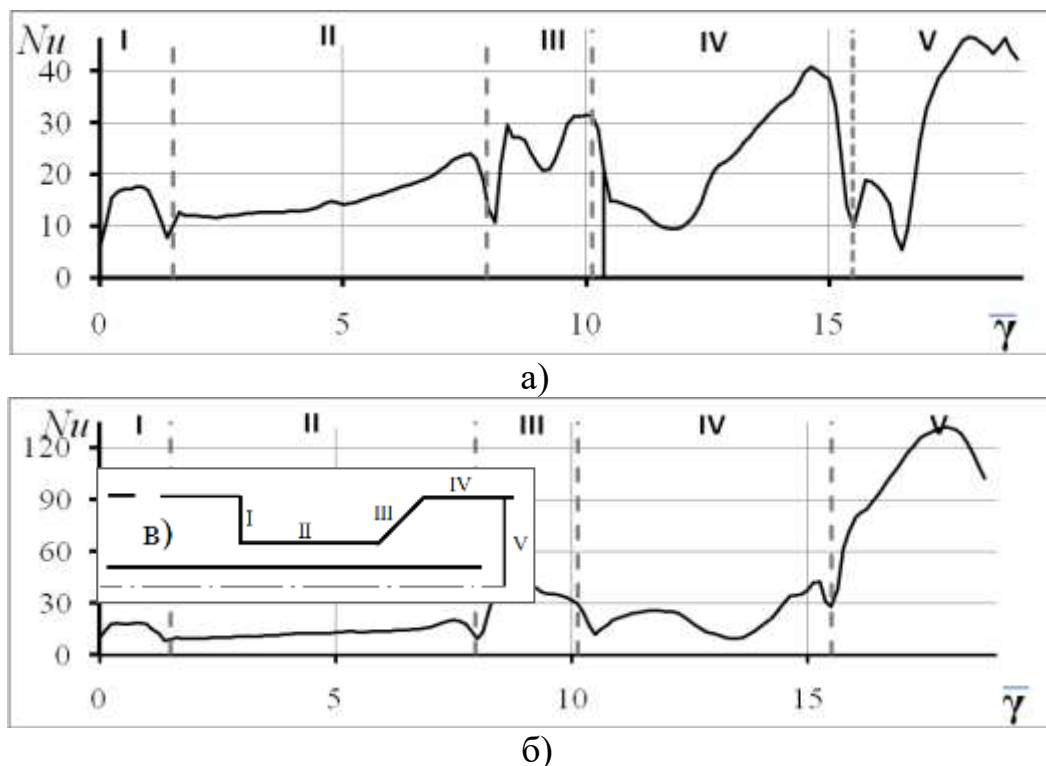


Рис. 3. Розподіл числа Nu на внутрішній поверхні стабілізатора для систем охолодження з плоским імпульсним струменем (а) і круглими імпульсними струменями (б) та розташування на даній поверхні характерних зон (в)

За даними виконаних досліджень показано також, що застосування систем охолодження з круглими імпактними струменями забезпечує за умов однакових витрат природного газу і при інших рівних основних параметрах суттєво інтенсивніше охолодження стінок стабілізатора, ніж у разі плоского струменя. Для прикладу на рис. 4 наведено поля безрозмірних температур стінок стабілізатора, що відповідають вказаним системам охолодження.

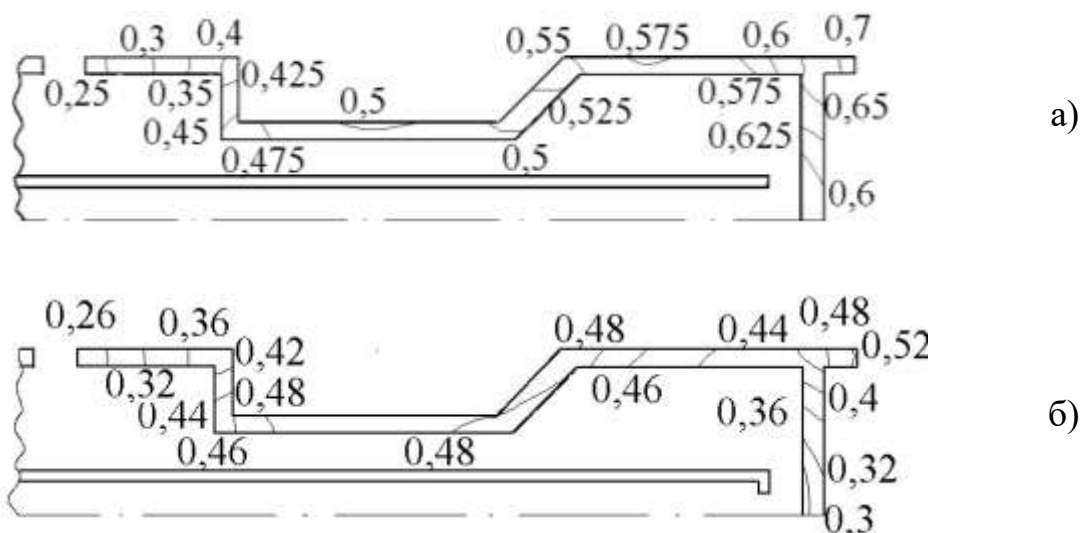


Рис. 4. Поля безрозмірних температур стінок стабілізатора, що відповідають різним системам охолодження: а) з плоским струменем; б) з круглими струменями

Згідно з одержаними даними на зривній кромці стабілізатора, де значення температури \bar{t}_c є найбільшими, вони відрізняються майже на 0,2 для плоского і круглих струменів.

Висновки. На основі CFD моделювання виконано зіставлення основних характеристик систем охолодження пальників струменево-нішового типу з обдувом внутрішньої торцевої поверхні стабілізатора полум'я плоским імпактним струменем та системою круглих імпактних струменів. Виявлено закономірності зміни числа N_{in} на внутрішній поверхні стабілізатора для ситуацій, які зіставляються, і показано, що вони суттєво відрізняються,

насамперед, в зоні торцевої поверхні стабілізатора. При цьому максимальні значення Nu в зоні удару струменя у торцеву поверхню за умов, що розглядаються, для системи круглих струменів перевищують відповідні значення для плоского струменя приблизно в 3 рази. Встановлено, що застосування системи охолодження з круглими струменями забезпечує за інших однакових умов значно інтенсивніше охолодження стінок стабілізатора у порівнянні з плоским струменем. Однак сумарні втрати тиску по тракту охолоджувача при цьому зростають більш ніж у 4 рази.

Література

1. Фиалко Н.М., Аронов И.З., Навродская Р.А., Пресич Г.А. Эффективность применения конденсационных теплоутилизаторов в системах теплоснабжения // Промышленная теплотехника. 2003. Т. 25, №3. С. 36-41.
2. Навродська Р.О., Фіалко Н.М., Гнедаш Г.О., Сбродова Г.О. Енергоефективна теплоутилізаційна система для підігрівання тепломережної води та дуттьового повітря котлів комунальної теплоенергетики // Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39, №4. С. 61-68
3. Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А., Глушак О.Ю. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок с глубоким охлаждением дымовых газов // Современная наука исследования, идеи, результаты, технологии. 2014. №2(15). С. 13-17.
4. Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О. Удосконалення комплексної системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів

- для підігрівання і зволоження дуттьового повітря // Промышленная теплотехника. 2011. Т. 33, №5. С. 88-95.
5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2018. № 6/8 (96). С.43-48.
 6. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования // Промышленная теплотехника. 2015. №6. С. 5-15.
 7. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Теплофизические свойства полимерных микро- и нанокомпозитов на основе поликарбоната // Промышленная теплотехника. 2015. №2. С. 12-19.
 8. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Навродская Р.О. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе полиэтилена при различных методах их получения // Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39, №4. С. 21-26
 9. Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокомпозитов // Технологические системы. 2016. №3(76). С.49-60
 10. Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. Структурообразование полимерных микро- и нанокомпозитов на основе поликарбоната в процессах их кристаллизации // Промышленная теплотехника. 2015. №3. С. 5-15.

11. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О, Полозенко Н.П. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. 2011. №2. С. 59-64.
12. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовский Л.С., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Коханенко П.С., Полозенко Н.П. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. 2010. №6. С. 28-36.
13. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В, Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Иваненко Г.В., Юрчук В.Л., Милко Е.И., Ольховская Н.Н. Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках стабилизаторов при варьировании шага их смещения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 2, №8(74). С. 29-34.
14. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Грановская Е.А., Шеренковский Ю.В., Алешко С.А., Коханенко П.С. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком // Промышленная теплотехника. 2010. №5. С. 26-33.
15. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О, Алешко С.А., Полозенко Н.П. Компьютерное моделирование процесса смесеобразования в горелочных устройствах стабилизаторного типа с подачей газа внедрением в сносящий поток воздуха // Промышленная теплотехника. 2011. №1. С. 51-56.